

广东不同地区冬种意大利黑麦草根际 AM 生理生态研究*

辛国荣, 孙斌, 黎国喜, 吴瑾, 杨宇洁, 王宇涛, 杨中艺
(中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室//生命科学学院, 广东 广州 510275)

摘要: 对广东省不同地区意大利黑麦草根际 VA 菌根的形成规律和营养环境条件 (含水量、pH 值、土壤温度、土壤养分等) 进行了研究。结果表明, 在广东省不同地区意大利黑麦草根系中普遍存在 AMF (Arbuscular mycorrhiza fungi) 的感染, 但 AMF 对意大利黑麦草的感染不存在地带性特征。除菌丝感染外, 还发现有大量的丛枝状结构和泡囊状结构。AM 总感染率、菌丝感染率、丛枝感染率以及泡囊感染率都与土壤全 P、速效 P 含量极显著负相关 ($p < 0.01$)。不同地区黑麦草根际土壤中含有的 AMF 孢子数量存在差异, AMF 孢子总数与 AM 丛枝感染率、AM 泡囊感染率极显著正相关 ($p < 0.01$)。AMF 孢子总数与土壤含水量、有机质含量、全 N 含量、水解 N 含量极显著正相关 ($p < 0.01$); 与全 P 含量显著负相关 ($p < 0.05$)。土壤理化性状、地域以及环境因子的不同, 可能是导致了不同地方 AMF 数量差异的主要原因。研究结果对水田管理和科学施肥具有指导意义。

关键词: 意大利黑麦草 (*Lolium multiflorum* L.); 丛枝菌根感染率; 孢子数量; 生理; 生态

中图分类号: S344.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 02-0079-06

根据土壤气候带的不同, AM 真菌的分布在广东省可以大致划分为广东省北部地区、除雷州半岛以外广州以南地区和雷州半岛^[1]。调查研究还发现广东 AMF 的物种多样性指数为 1.275 8, 在东南沿海 7 省中仅次于福建^[2]。

为了明确广东省稻田冬种意大利黑麦草 AM 感染是否具有普遍性、地带性以及影响意大利黑麦草 AMF 感染主要土壤环境因素, 我们采集了广东省 10 个地区意大利黑麦草的根系和土壤表 1, 测定各地稻田土壤的理化性质以及意大利黑麦草 AM 感染情况, 探讨不同地区水田意大利黑麦草 AM 感染的差异及主要土壤环境因子, AMF 孢子数量的差异以及影响 AMF 孢子分布的主要环境因子。

1 试验设计

1.1 采样及分析方法

在每个采样地点, 采用环形取样方法, 取样器直径为 10 cm, 深度为 10 cm 的圆柱体。4 次重复, 分别测量意大利黑麦草 AM 感染率、AMF 孢子数量、土壤含水量、pH 值以及土壤养分的含量, 最后取 4 个数值的平均值作为该采样地点的数值。

采集的根样洗净后用 $w = 0.05\%$ 的 Trypanblue 染色^[3], 意大利黑麦草 AM 感染率统计方法采用网

表 1 意大利黑麦草根系和土壤采样地点的基本信息

Tab. 1 Basic information of sampling places of IRC root and soil

取样地点	取样时间 (2006 年)	采样地点	海拔 (m)	栽培方式
阳江 (YJ)	1 月 18 日	广东省阳江漠江养鸡场	22	撒播
电白 (DB)	1 月 18 日	广东省电白县水东镇	53	移栽
中山 (ZS)	1 月 18 日	广东省中山市东升镇	50	撒播
清远 (QY)	1 月 17 日	广东省清远市清新县三坑镇	26	撒播
梅县 (MX)	1 月 20 日	广东省梅州市西郊	65	撒播
丙村 (BC)	1 月 19 日	广东省梅州市丙村	64	撒播
西都 (XD)	1 月 20 日	广东省潮州市意溪镇西都管理区	24	撒播
潮州 (CZ)	1 月 20 日	广东省潮州市意溪镇镇政府旁	23	移栽
径南 (JN)	1 月 19 日	广东省兴宁市径南镇	248	撒播
广州 (GZ)	1 月 23 日	广州市华南农业大学农场	8	撒播

格计数法^[4]。

土壤样品一部分采用湿筛法析后用体视显微镜镜检^[5]。称取 25.0 g 从大田取回的鲜土, 用 1 000 mL 的烧杯悬浮, 搅拌均匀后静置 7 s 后过 50 μm 筛。收集混合物, 置于体视显微镜下观察、计数和挑取孢子制片保存。并统计孢子总数。

* 收稿日期: 2007-09-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30571320, 30640050); 广东省自然科学基金资助项目 (07003648); 广东省农业攻关资助项目 (2004B20801016)

作者简介: 辛国荣 (1968 年生), 男, 博士, 副教授; E-mail: lssxgr@mail.sysu.edu.cn

部分土壤用于测定^[6]土壤含水量 (Soil Moisture, SM)、土壤 pH、土壤有机质、土壤全 N、土壤水解 N、土壤全 P、土壤速效 P。

1.2 数据处理与分析

结果取重复数的平均值, 先在 Excel 中做初步分析与处理, 再用 SPSS10.0 进行方差分析 (ANOVA) 和平均数差异显著性分析 (LSD 检验, $p < 0.05$) 和相关性分析 (Pearson Correlation, Sig. 2-tailed), 用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 不同地点意大利黑麦草 AM 感染率

2.1.1 总感染率 (TC) 从表 2 可知, AM 总感染率最高为 YJ, 达到 47.25%; CZ 最低为 3.75%。统计分析表明, YJ 的总感染率极显著高于 DB、ZS、QY、CZ、JN 和 GZ ($p < 0.01$); BC、MX 和

XD 的总感染率极显著高于 DB、ZS、CZ、JN 和 GZ ($p < 0.01$), 显著高于 QY ($p < 0.05$), 但 BC、MX 和 XD 三者之间无显著差异性 ($p > 0.05$); QY 的总感染率极显著高于 CZ ($p < 0.01$), 显著高于 GZ ($p < 0.05$); JN 的总感染率显著高于 CZ ($p < 0.05$)。

2.1.2 菌丝感染率 (HC) 不同地方取样的意大利黑麦草根系中, 都存在菌丝感染 (表 2)。AM 菌丝感染率最高为 BC, 达到 32.88%; CZ 最低为 3.38%。统计结果表明, BC 和 YJ 的 AM 菌丝感染率极显著高于 DB、ZS、CZ、JN 和 GZ ($p < 0.01$); MX 的 AM 菌丝感染率极显著高于 DB、ZS、CZ、GZ ($p < 0.01$), 显著高于 JN ($p < 0.05$); XD 的 AM 菌丝感染率极显著高于 CZ ($p < 0.01$), 显著高于 DB 和 GZ ($p < 0.05$); QY 的 AM 菌丝感染率极显著高于 CZ ($p < 0.01$)。

表 2 各地意大利黑麦草 AM 感染率及土壤中孢子数量

Tab. 2 AM colonization of IRG and spore density in the soil of different places

采样地点	总感染率 (%)	菌丝感染率 (%)	丛枝感染率 (%)	孢囊感染率 (%)	孢子总数 (个/100g 土)
YJ	47.25a	31.38ab	11.00a	14.63a	2442.0a
DB	10.75cd	10.25cd	0.00d	0.50b	789.5bc
ZS	12.38cd	11.50cd	0.88cd	0.13b	761.9bc
QY	22.50bc	21.25abc	0.88cd	1.38b	395.9c
MX	38.00ab	28.13ab	7.88b	9.63a	222.5c
BC	38.25ab	32.88a	2.13cd	9.50a	991.0bc
CZ	3.75d	3.38d	0.00d	0.38b	897.2bc
XD	35.88ab	22.25abc	4.00c	0.38b	293.0c
JN	17.25cd	16.13bcd	0.88cd	0.25b	1373.3b
GZ	7.75cd	7.75cd	0.13cd	0.00b	151.5c

注: 同列小写字母不相同表示差异显著 (LSD 检验, $p < 0.05$) (下同)

2.1.3 丛枝感染率 (AC) 从表 2 可知, AM 丛枝感染率最高为 YJ, 达到 11.00%; 在 DB 和 CZ 意大利黑麦草根系中没有发现丛枝结构。统计结果表明, YJ 和 MX 的 AM 丛枝感染率极显著高于其他 8 个地区 ($p < 0.01$), YJ 的 AM 丛枝感染率显著高于 MX ($p < 0.05$)。XD 的 AM 丛枝感染率极显著高于 DB、CZ 和 GZ ($p < 0.01$), 显著高于 ZS、QY 和 JN ($p < 0.05$)。

2.1.4 孢囊感染率 (VC) AM 孢囊感染率最高为 YJ (见表 2), 达到 14.63%; 其次是 MX 和 BC, 分别为 9.63% 和 9.50%; 在 GZ 的意大利黑麦草根系中没有发现孢囊结构。统计结果表明, YJ、MX 和 BC 的 AM 孢囊感染率极显著高于 QY、DB、CZ、XD、JN、ZS 和 GZ ($p < 0.01$)。

2.2 不同地点土壤 AMF 孢子数量 (TSD)

YJ 土壤中每 100 g 土的 AMF 孢子总数最高 (表 2), 为 2 442.0 个, 其次为 JN 和 BC, 分别为 1 373.3 个, 991.0 个; 最低为 GZ, 只有 151.5 个。统计结果表明, YJ 土壤中的 AMF 孢子总数极显著高于其他九个地方 ($p < 0.01$)。JN 极显著高于 QY、XD、MX 和 GZ ($p < 0.01$), 显著高于 DB 和 ZS 两地 ($p < 0.05$)。BC 极显著高于 MX 和 GZ ($p < 0.01$); BC、DB 和 ZS 三地都显著高于 MX 和 GZ ($p < 0.05$)。

2.3 不同地点土壤理化性状

2.3.1 pH 值 表 3 表明, GZpH 值最高, 为 6.58, 最低 XD 为 3.98。统计结果表明, GZ 的 pH 极显著高于其他九个地方 ($p < 0.01$)。QY 和 ZS 的 pH 值极显著高于 MX、DB、CZ 和 XD, 显著高

于 YJ 和 JN ($p < 0.05$)。BC、YJ、JN 和 MX 四地的 pH 值显著高于 DB、CZ 和 XD 三地 ($p < 0.05$)，但四地之间不存在差异显著性 ($p > 0.05$)。

2.3.2 有机质 (OM) 表 3 可见, JN 土壤有机质含量最高, 为 5.39%; DB 最低, 为 1.58%。统计结果表明, JN 土壤的有机质含量极显著高于除 YJ 以外的其他八个地方 ($p < 0.01$)。YJ 的有机质含量极显著高于 BC、MX、XD、QY、GZ 和 DB ($p < 0.01$), 显著高于 CZ ($p < 0.05$)。ZS 和 CZ 的有机质含量极显著高于 MX、XD、QY、GZ 和 DB ($p < 0.01$), 二者之间不存在差异显著性 ($p > 0.05$), 且 ZS 的还显著高于 BC ($p < 0.05$)。BC、MX、XD 和 QY 四地的有机质都极显著高于 DB ($p < 0.01$)。其中 BC 还极显著高于 GZ ($p < 0.01$), 显著高于 XD 和 QY 两地 ($p < 0.05$); MX 显著高于 GZ ($p < 0.05$)。

2.3.3 全 N (TN) 从表 3 可知, YJ 土壤样本的全 N 含量最高, 为 0.35%; DB 最低, 为 0.10%。统

计结果表明, YJ 土壤的全 N 含量极显著高于其他九个地方 ($p < 0.01$)。ZS 的全 N 含量极显著高于 BC、QY、MX、XD、GZ 和 DB ($p < 0.01$)。JN、CZ 和 BC 的全 N 含量极显著高于 XD、GZ 和 DB ($p < 0.01$), 其中 JN 还显著高于 MX ($p < 0.05$)。QY 和 MX 两地的全 N 含量极显著高于 GZ 和 DB ($p < 0.01$), 显著高于 XD ($p < 0.01$), 二者之间不存在显著差异性 ($p > 0.05$)。

2.3.4 水解 N (SN) 表 3 表明, YJ 土壤样本中水解 N 含量最高, 为 61.63 mg/100 g; GZ 最低, 为 6.10 mg/100 g。统计结果表明, YJ 的水解 N 含量极显著高于其他九个地方 ($p < 0.01$)。CZ 的水解 N 含量极显著高于 QY、DB 和 GZ ($p < 0.01$), 显著高于 BC、ZS、XD 和 MX ($p < 0.05$)。JN 和 BC 两地的水解 N 含量极显著高于 GZ ($p < 0.01$), 显著高于 DB ($p < 0.05$), 二者之间不存在差异显著性 ($p > 0.05$)。ZS、XD 和 MX 三地的水解 N 含量显著高于 GZ ($p < 0.05$)。

表 3 各地土壤含水量、pH 值、有机质、全 N、水解 N、全 P 和速效 P 含量

Tab. 3 Soil moisture, pH, organic matter, total N, soluble N, total P and available P of different places

采样地点	含水量 (%)	pH 值	有机质含量 (%)	全 N 含量 (%)	水解 N 含量 (mg/100g)	全 P 含量 (g/kg)	速效 P 含量 (mg/kg)
YJ	30.40c	5.02c	5.09ab	0.35a	61.63a	0.38e	3.59e
DB	16.98d	4.22d	1.58g	0.10d	9.56de	0.58d	111.67a
ZS	25.61c	5.57b	4.43bc	0.28b	18.83cd	0.79c	15.94cd
QY	28.70c	5.59b	2.86f	0.20c	14.82cde	0.52d	10.21de
MX	19.96d	4.86c	2.95ef	0.20c	18.42cd	0.56d	10.45cde
BC	45.80b	5.16bc	3.60de	0.21c	19.85c	0.59d	4.29e
CZ	43.40b	4.22d	4.19cd	0.25bc	29.64b	0.93b	45.29b
XD	20.14d	3.98d	2.87f	0.15d	18.76c	0.57d	19.67c
JN	55.02a	5.00c	5.39a	0.25bc	21.79bc	0.78c	7.88de
GZ	17.17d	6.58a	2.17fg	0.12d	6.10e	1.14a	105.48a

2.3.5 全 P (TP) 表 3 可见, GZ 土壤样本中全 P 含量最高, 为 1.14 g/kg; YJ 最低, 为 0.38 g/kg。统计结果表明, GZ 的全 P 含量极显著高于其他九个地方 ($p < 0.01$)。CZ 的全 P 含量极显著高于除 GZ、ZS 以外的 7 个地方 ($p < 0.01$), 显著高于 ZS ($p < 0.05$)。ZS 和 JN 的全 P 含量极显著高于 BC、DB、XD、MX、QY 和 YJ ($p < 0.01$)。BC、DB、XD、MX 和 QY 的全 P 极显著高于 YJ ($p < 0.01$), 五者之间不存在差异显著性 ($p > 0.05$)。

2.3.6 速效 P (AP) 表 3 中 DB 土壤样本中速效 P 含量最高, 为 111.67 mg/kg; YJ 最低, 为 3.59 mg/kg。统计结果表明, DB 和 GZ 的速效 P

含量极显著高于其他八个地方 ($p < 0.01$), 二者之间不存在差异显著性 ($p > 0.05$)。CZ 的速效 P 含量极显著高于除 DB 和 GZ 其他 7 个地方 ($p < 0.01$)。XD 的速效 P 含量极显著高于 BC 和 YJ ($p < 0.01$)。XD 和 ZS 的速效 P 含量显著高于 QY 和 JN ($p < 0.05$)。

2.4 不同地点意大利黑麦草 AM 感染率与孢子数量之间的关系

表 4 表明, AM 总感染率与 AM 菌丝感染率、AM 丛枝感染率、AM 泡囊感染率极显著正相关 ($p < 0.01$); AMF 孢子总数与 AM 丛枝感染率、AM 泡囊感染率极显著正相关 ($p < 0.01$)。

表 4 AMF 孢子数量、AM 感染率之间的相关性¹⁾

Tab. 4 Correlations between AMF spore density and AM colonization (Pearson Correlation, Sig. 2-tailed, $n=40$)

项目	TSD	TC	HC	AC	VC
TSD	1.000				
TC	0.300	1.000			
HC	0.237	0.829**	1.000		
AC	0.356*	0.780**	0.527**	1.000	
VC	0.485**	0.704**	0.607**	0.725**	1.000

1) TSD 表示孢子总数 (个/100g 土), TC 表示总感染率 (%), HC 表示菌丝感染率 (%), AC 表示丛枝感染率 (%), VC 表示泡囊感染率 (%) **表示极显著相关 ($p < 0.01$), *表示显著相关 ($p < 0.05$)

2.5 不同地区意大利黑麦草 AM 感染率与土壤含水量、pH 值及养分之间的关系

表 5 表明, AM 总感染率与水解 N 含量极显著正相关 ($p < 0.01$), 与全 P 含量、速效 P 含量极显著负相关 ($p < 0.01$); AM 菌丝感染率与全 P 含量、速效 P 含量极显著负相关 ($p < 0.01$); AM 丛枝感染率与全 N 含量、水解 N 含量极显著正相关 ($p < 0.01$); 与全 P 含量、速效 P 含量极显著负相关 ($p < 0.01$); AM 泡囊感染率与全 N 含量、水解 N 含量极显著正相关 ($p < 0.01$); 与全 P 含量、速效 P 含量极显著负相关 ($p < 0.01$)。

2.6 意大利黑麦草根际土壤 AMF 孢子数与土壤养分之间的关系

从表 5 可以看出, AMF 孢子总数与土壤含水量、有机质含量、全 N 含量、水解 N 含量极显著正相关 ($p < 0.01$); 与全 P 含量显著负相关 ($p < 0.05$)。

表 5 AMF 孢子数量、AM 感染率、土壤含水量、pH 与土壤养分之间的相关性¹⁾

Tab. 5 Correlations between AMF spore density, AM colonization, soil moisture, pH and soil nutrients (Pearson Correlation, Sig. 2-tailed, $n=40$)

项目	TSD	TC	HC	AC	VC
SM	0.454**	0.028	0.119	-0.145	0.069
pH	-0.125	-0.115	0.006	-0.126	-0.054
OM	0.655**	0.140	0.138	0.226	0.216
TN	0.693**	0.289	0.246	0.422**	0.456**
SN	0.773**	0.429**	0.294	0.653**	0.555**
TP	-0.342*	-0.676**	-0.598**	-0.572**	-0.491**
AP	-0.301	-0.580**	-0.564**	-0.442**	-0.392*

1) SM 表示土壤含水量 (%), OM 表示有机质 (%), TN 表示全 N (%), SN 表示水解 N (mg/100g), TP 表示全 P (g/kg), AP 表示速效 P (mg/kg)

3 讨 论

3.1 土壤养分对不同地点意大利黑麦草 AM 感染率的影响

调查研究表明, 广东省各地取样的意大利黑麦草根系中 AM 的感染存在差异。不同地点的气候条件、土壤类型、土壤肥力状况、耕作方式、对意大利黑麦草的刈割强度以及不同的施肥量, 都可能是造成 AM 感染差异的重要原因。

从表 5 分析可知, 土壤理化性状差异应该是不同地方意大利黑麦草 AM 感染率的差异的最主要的原因。由于土壤养分的巨大差异, 造成了意大利黑麦草 AM 感染率的差异, 以及不同感染形态的差异。研究发现, 3 种 AM 感染形态 (菌丝、丛枝结构、泡囊结构) 都与土壤全 P 含量极显著负相关, 说明土壤全 P 含量在意大利黑麦草生长过程中限制了 AM 对其的感染; 过高的速效 P 含量也抑制 AM 对宿主植物的感染, 因而 CZ 和 DB 的感染率相对较低。因此, 土壤 P 水平对 VA 菌根菌侵染的影响可能因植物、真菌和土壤种类而异。

在有机质含量较高的土壤中, AM 感染率相对较高, 例如在 YJ、MX、BC 三地, 土壤有机质含量是所有 10 个采样点中最高的 3 个, 其 AM 菌丝感染率也是最高的, 丛枝感染率和泡囊感染率也是 YJ、MX 两地位居前列。这可能与土壤有机质含量较高, 为水稻土中的 AMF 孢子萌发提供了质地疏松而又通气性好的土壤条件有关, 同时, YJ 和 BC 的速效 P 含量又属于极低水平, 正好为 AMF 的发生感染创造一个低 P 的环境。蔡晓布等研究土壤因子对西藏高原草地植物 AM 真菌的影响时也发现土壤有机质含量高, 对于 AMF 菌丝的生长发育有利。相反的, 在高 P 低有机质的土壤中, 意大利黑麦草根系中的 AM 感染率相对较低^[7]。综上所述, 冬种意大利黑麦草, 不同地方的意大利黑麦草根系中的 AM 感染率存在差异, 这种差异的形成不是单一因素所致, 而是土壤养分不同、环境因子差异等综合效应的结果。

3.2 土壤养分对不同地点土壤 AMF 孢子数量的影响

贺学礼等^[8]1994-1996 年对陕西部分地区农田土壤中 AM 真菌种类进行了分离和鉴定, 并对真菌及孢子的生态分布做了研究, 发现 AM 真菌种类和孢子的分布与多种生态因子有关。调查也发现不同地区种植的黑麦草根际土壤中 AMF 孢子总数与土壤含水量、有机质含量、全 N 含量、水解 N 含量极显著正相关; 与全 P 含量显著负相关; 可见

同一作物在不同生境中根际孢子数量有一定差异, 这与根系发育特征及耕作制度有关^[8]。在这里需要说明的一点是, 我们的调查是在水田冬闲期种植黑麦草的条件下进行的, 在前作水稻生长过程中, 菌根孢子等感染体是如何生存下来, 并在黑麦草生长期间发生作用, 这是一个十分有趣的问题, 我们估计在水稻田中, AMF 孢子可能以一种忍耐厌氧的机制保存着, 遇到适宜的条件 (如有宿主植物的种植、适宜的水份、土壤养分、土壤温度等) 就开始萌发并对后作植物感染。

另外, 土壤含 P 含量高不仅抑制了 AMF 对宿主植物的感染, 同时也抑制了 AMF 孢子的数量。高 P 的土壤环境对植物生长极为有利, 但是对于 AMF 的生存和发育却是存在强大的抑制作用。这与很多研究结果相一致^[9-10]。

3.3 意大利黑麦草 AM 感染率与 AMF 孢子数量之间的关系

对于 AMF 孢子数量与感染率之间相关性研究, 有的得出有显著相关性, 也有发现二者之间并不存在某种相关。但是, 在本调查研究者却发现在水稻田这个特殊的生态系统中, AMF 孢子的数量和种类的多少, 的确可以影响到 AM 对意大利黑麦草的感染的发生以及形态结构的形成。调查结果表明, AMF 孢子总数与 AM 丛枝感染率、AM 泡囊感染率极显著正相关。AMF 孢子数量越多, 萌发的数量就越大, 就能形成更多的菌丝网络, 就越有利于 AMF 感染意大利黑麦草, 有利于形成更多更丰富的 AM 结构来帮助意大利黑麦草吸收土壤中更多的营养成分。

参考文献:

- [1] 张美庆, 王幼珊, 刑礼军. AM 真菌在我国东、南沿海各土壤气候带的分布[J]. 菌物系统, 1999, 18(2): 145-148.
ZHANG Meiqing, WANG Youshan, XING Lijun. The regional distribution of AM fungi in tile east and south coast of China[J]. Mycosystema, 1999, 18(2): 145-148.
- [2] 张美庆, 王幼珊, 刑礼军. 我国东、南沿海地区 AM 真菌群落生态分布研究[J]. 菌物系统, 1998, 17(3): 274-277.
ZHANG Meiqing, WANG Youshan, XING Lijun. The ecological distribution of AM fungi community in south and east coast of China[J]. Mycosystema, 1998, 17(3): 274-277.
- [3] PHILLIPS J M, HAPMANN D S. Improved procedures for cleaning and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970, 55: 158-160.
- [4] GIOVANNETTI M, MOSSE B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular infection in roots[J]. New Phytologist, 1980, 84: 489-500.
- [5] GERDEMANN J W, NICOLSON T H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted by wet sieving and decanting[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1963, 46: 235-244.
- [6] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Handbook of Soil Physical and Chemical Properties[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978.
- [7] 蔡晓布, 钱成, 彭岳林, 等. 环境因子对西藏高原草地植物丛枝菌根真菌的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 859-864.
CAI Xiaobu, QIAN Cheng, PENG Yuelin, et al. Effects of environmental factors on AM fungi around steppe plant roots in Tibet Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(5): 859-864.
- [8] 贺学礼, 赵丽莉, 周春菊, 等. VA 菌根真菌对大蒜幼苗生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 1999, 8(2): 84-85.
HE Xueli, ZHAO Lili, ZHOU Chunju, et al. Effects of VA mycorrhizal fungi on the physiological characters of garlic seedling[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 1999, 8(2): 84-85.
- [9] DHILLON S S, ZAK J C. Microbial dynamics in arid ecosystems: desertification and potential role of mycorrhizas[J]. Revista Chilena de Historia Natural, 1993, 66: 253-270.
- [10] 贺学礼, YOSEF STEINBERGER. 丛枝霸王(*Zygophyllum dumosum*)根际 AM 生态学研究[J]. 西北植物学报[J]. 2001, 21(6): 1070-1077.
HE Xueli, YOSEF STEINBERGER. Ecological research of arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of *Zygophyllum dumosum* in the desert ecosystem[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2001, 21(6): 1070-1077.

(下转第 88 页)

Evolutionary Information Contained in Oligonucleotide Frequency Differences Across Genomes

XIONG Yuan-yan, WANG Jun-peng, LAN Yi-jie, WEN Ming, ZHANG Shang-hong

(The Key Laboratory of Gene Engineering of Ministry of Education // Biotechnology Research Center, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Phylogenetic trees were constructed based on information from oligonucleotide frequency differences across genomes in this paper. Frequency data from 194 prokaryotic genomes were calculated and analyzed for their characteristics of conservation across genomes. Oligonucleotide frequency differences among genomes were weighted according to the characteristics of conservation. The weighted differences were then used as measures of genetic distances among genomes to construct phylogenetic trees. Compared with the traditional method, similar trees were obtained for classification units lower than family, while trees for classification units higher than family were different. The phylogenetic trees constructed in this study are true whole-genome trees. The approach used is alignment-free and specific in weighing the oligonucleotide frequency differences.

Key words: whole-genome sequence; oligonucleotides; frequency; phylogenetic tree; information analysis; data mining; bioinformatics

(上接第 83 页)

Ecological and Physiological Research on Arbuscular Mycorrhizas (AM) of Winter Cropping Italian Ryegrass in Different Areas of Guangdong

XIN Guo-rong, SUN Bin, LI Guo-xi, WU Jin, YANG Yu-jie, WANG Yu-tao, YANG Zhong-yi

(State Key Laboratory for Biological Control//School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In this study, we investigated the formation rules, the nutritional and environmental conditions (moisture, pH value, soil temperature, soil nutrient, etc.) of the VA mycorrhizal in Italian ryegrass rhizosphere in different areas of Guangdong province. Our results showed that, the AMF colonization in Italian ryegrass root system is universal in different areas of Guangdong, but the AMF colonization in Italian ryegrass showed no regional characteristic. Besides the colonization of mycelium, a large number of AM structures of arbuscules and vesicles were also found. The total AM infection rates, the mycelium infection rates, the arbuscule infection rates and the vesicle infection rates all had significant negative correlations with soil total phosphorus and soil available phosphorus ($p < 0.01$). There were differences in the quantity of spores contained in Italian ryegrass rhizosphere in different areas of Guangdong. The number of the total AMF spores had significant positive correlations with the AM arbuscular infection rates and the AM vesicle infection rates ($p < 0.01$). It also had significant positive correlations with the soil moisture, organic matter, total nitrogen and soluble nitrogen ($p < 0.01$), and a significant negative correlation with the soil total phosphorus ($p < 0.05$). The differences of soil physical and chemical characters, regional and environmental factors may be the main factors inducing the differences of AMF quantity in different areas. The results may be applied to the management of paddy field and to the efficient fertilization.

Key words: *Lolium mutiflorum* L.; arbuscular colonization; quantity of AMF spores; physiology; ecology